

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 7 月 7 日 (07.07.2005)

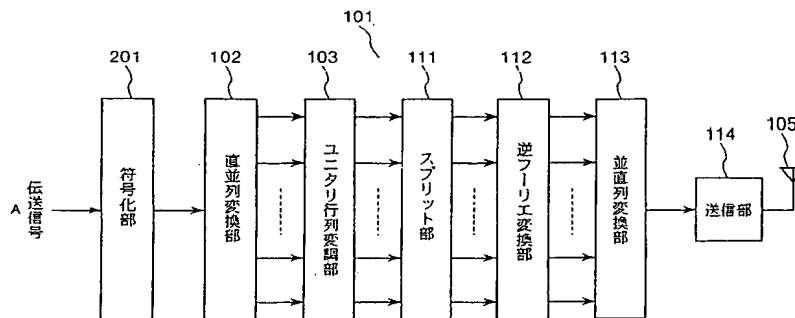
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/062509 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H04J 11/00 市 貫井北町 4-2-1 独立行政法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016275
- (22) 国際出願日: 2003 年 12 月 18 日 (18.12.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人情報通信研究機構 (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒184-8795 東京都 小金井市 貫井北町 4-2-1 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 木村 満 (KIMURA, Mitsuru); 〒101-0054 東京都 千代田区 神田錦町二丁目 7 番地 協販ビル 2 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP, KR, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 安 昌 俊 (AHN, Chang-Jun) [KR/JP]; 〒184-8795 東京都 小金井
- 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: TRANSMITTER, RECEIVER, TRANSMITTING METHOD, RECEIVING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、プログラム



A...TRANSMISSION SIGNAL
201...ENCODING SECTION
102...SERIES-PARALLEL CONVERSION SECTION
103...UNITARY MATRIX MODULATING SECTION
111...SPLIT SECTION
112...INVERSE-FOURIER-TRANSFORM SECTION
113...PARALLEL-SERIES CONVERSION SECTION
114...TRANSMISSION SECTION

(57) Abstract: An encoding section (201) of a transmitter receives an input of a signal to be transmitted and LDPC-encodes it. A series-parallel conversion section (102) series-parallel-converts the encoded signal and outputs an m intermediate signals ($m \geq 2$). A unitary matrix modulating section (103) modulates the m intermediate signals into m -row \times m -column matrix having elements equal to zero other than the diagonal elements and outputs the obtained matrix. A split section (111) feeds the diagonal elements of the matrix as an input signal to the input channel of an inverse Fourier transform section (112), which inverse-Fourier-transforms the fed input signal and outputs the obtained m inverse-Fourier-transformed signal. A parallel-series converting section (113) parallel-series-converts the m inverse-Fourier-transformed signal and outputs one transmission signal. A transmission section (114) transmits the outputted transmission signal. The difference between the frequencies of any two channels of the Inverse-Fourier-conversion section (112) is more than a predetermined coherent bandwidth.

[続葉有]

BEST AVAILABLE COPY

明細書

送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、プログラム

5 技術分野

本発明は、低密度パリティチェック (Low Density Parity Check ; LDPC) 符号を用いて対角成分以外の成分が 0 であるユニタリ行列による変復調を用いて効率良く通信を行う送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、
10 これらをコンピュータ上にて実現するためのプログラムに関する。

背景技術

従来から、OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) 変復調に関連
15 する技術や、ユニタリ行列を用いた変復調に関連する技術について、以下の文献に開示されている。

[特許文献 1] 特開 2002-185428 号公報

[特許文献 2] 特開 2001-285242 号公報

[特許文献 3] 特開平 10-107761 号公報

20 [非特許文献 1] 安 昌俊、笹瀬 巖、Convolutional Coded Coheretn and Diffenretial Unitary Space-Time Modulated OFDM with Bit Interleaving for Multiple Anntenas system、信学技報、TECHNICAL REPORT OF IEICE、SST2002-47、2002 年 10 月、75 頁～80 頁

特許文献 1 には、OFDM 通信システムに係る発明が開示されている。

25 特に、受信 OFDM 信号を高速フーリエ変換によって周波数領域成分に変換し、周波数領域成分をタイミング成分に処理し、タイミング成分からタイミング情報を導き出し、タイミング情報を受信 OFDM 信号に適用して受信機を同

発明の開示

以上の目的を達成するため、本発明の原理にしたがって、以下の発明を開示する。

- 5 本発明の第1の観点に係る送信装置は、符号化部と、直並列変換部と、ユニタリ行列変調部と、スプリット部と、逆フーリエ変換部と、並直列変換部と、送信部と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力する。

- 10 そして、直並列変換部は、出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 m ($m \geq 2$)個の中間信号を出力する。

一方、ユニタリ行列変調部は、出力された m 個の中間信号を、対角成分以外が0である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力する。

- 15 さらに、スプリット部は、出力された行列の対角成分のそれぞれを、逆フーリエ変換部の入力チャネルに入力信号として与える。

そして、逆フーリエ変換部は、その入力チャネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力する。

一方、並直列変換部は、出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して1つの送信信号を出力する。

- 20 さらに、送信部は、出力された送信信号を送信する。

逆フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

- 25 本発明のその他の観点に係る受信装置は、受信部と、直並列変換部と、フーリエ変換部と、逆スプリット部と、ユニタリ行列復調部と、並直列変換部と、復号化部と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、受信部は、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力する。

そして、逆フーリエ変換工程では、逆フーリエ変換の入力チャンネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力する。

一方、並直列変換工程では、出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を
5 並直列変換して 1 つの送信信号を出力する。

さらに、送信工程では、出力された送信信号を送信する。

そして、逆フーリエ変換工程における逆フーリエ変換のチャンネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

本発明の他の観点に係る受信方法は、受信工程と、直並列変換工程と、フー
10 リエ変換工程と、逆スプリット工程と、ユニタリ行列復調工程と、並直列変換工程と、復号化工程と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、受信工程では、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力する。

一方、直並列変換工程では、出力された受信信号を直並列変換して m ($m \geq$
15 2) 個の中間信号を出力する。

さらに、フーリエ変換工程では、出力された m 個の中間信号をフーリエ変換して得られる m 個のフーリエ変換済み信号を出力する。

そして、逆スプリット工程では、出力された m 個のフーリエ変換済み信号を、ユニタリ行列復調工程に与える。

20 一方、ユニタリ行列復調工程では、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列を復調する。

さらに、並直列変換工程では、復調された複数の復調済み信号を並直列変換して、直列化済み信号として出力する。

25 一方、復号化工程では、出力された直列化済み信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力する。

そして、フーリエ変換工程におけるフーリエ変換のチャンネル同士の周波数の

復号化部と、を備え、以下のように構成する。

すなわち、受信部は、送信された送信信号を受信して、これを受信信号として出力する。

- 一方、直並列変換部は、出力された受信信号を直並列変換して $m \times n$ ($m \geq 2, n \geq 1$)個の中間信号を出力する。

さらに、フーリエ変換部は、出力された $m \times n$ 個の中間信号をフーリエ変換して得られる $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を出力する。

そして、逆スプリット部は、出力された $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を、 n 個ずつ重複なくユニタリ行列復調部のそれぞれに与える。

- 10 一方、複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列を復調する。

さらに、並直列変換部は、復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力する。

- 15 一方、復号化部は、出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力する。

そして、フーリエ変換部のチャネル同士のうち、複数のユニタリ行列復調部のそれぞれに与えられるフーリエ変換済み信号を出力するチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である。

- 20 また、本発明の受信装置において、複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列であって、あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のそれぞれと、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列と、を対比して、当該あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のうち、その
25 ユークリッド距離が最小のものを選択し、当該選択されたものを復調の結果と
するように構成することができる。

また、本発明の受信装置において、複数のユニタリ行列復調部のうち、 i 番

図 4 は、 図 2 に示す送信装置と対になる受信装置の概要構成を示す模式図である。

図 5 は、 他の実施形態に係る送信装置の概要構成を示す模式図である。

図 6 は、 他の実施形態に係る受信装置の概要構成を示す模式図である。

5 図 7 は、 他の実施形態に係るスプリット処理の概要構成を示す模式図である。

図 8 は、 LDPC 符号に対応するグラフの例を表した説明図である。

図 9 は、 受信装置における LDPC 復号化の処理の制御の流れを示すフローチャートである。

10 図 10 は、 実験結果を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

以下では、本発明を実施するための最良の実施形態について説明するが、
15 該実施形態は説明のための例示であり、本発明の原理にしたがった他の実施形態もまた、本発明の範囲に含まれる。

まず、本実施形態で用いられるユニタリ行列について述べる。 m 行 m 列の
正方行列 S (i 行 j 列の要素を s_{ij} と書く。) その随伴行列 (共役転置行列) S^* (i
行 j 列の要素は s_{ji}^* である。ただし、 x^* は x の共役複素数である。) について、
20 を m 行 m 列の単位行列としたときに、

$$S S^* = S^* S = E$$

が成立する場合、 S を「ユニタリ行列」と呼ぶ。本実施形態では、ユニタリ行列のうち、対角成分以外がすべて 0 であるものを用いる。

たとえば、2 行 2 列のユニタリ行列としては、以下のようなものが考えられ
25 る。

[数 1]

ける。

[数 5]

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[数 6]

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

5

[数 7]

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

[数 8]

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

- 10 以下では、これらの例に基づき、2行2列のユニタリ行列変復調について説明する。すなわち、ユニタリ行列変調とは、[数 5] ~ [数 8] で示される2個の信号（各要素の値がそれぞれ1個の信号に相当する）入力があった場合に、これに対応付けられた [数 1] ~ [数 4] で示される行列を変調結果として出力するものであり、ユニタリ行列復調とは、その逆の操作を行うものである。

なわち、ユニタリ行列変調部 103 が出力するユニタリ行列の対角成分がすべて 0 であること、を利用して、時間軸での圧縮を考える。また、図 1 に示す実施形態では、アンテナ 105 の数が、ユニタリ行列の次元数と同じだけ必要となるが、アンテナ 105 の数を 1 つで済むようにすることを考える。このため

5 に適用される技術が OFDM 技術である。

(送信装置の実施形態)

図 2 は、OFDM 技術とユニタリ行列変調とを組み合わせた送信装置の概要構成を示す。

まず、送信装置 101 では、符号化部 201 が伝送すべき信号を LDPC 符号化して、符号化済信号として出力する点が、図 1 に示す実施形態と異なる。

10 LDPC 符号の詳細については後述する。

次に、直並列変換部 102、ユニタリ行列変換部 103 の処理は、図 1 に示す実施形態と同じである。

すなわち、符号化済信号が、直並列変換部 102 に入力されると、直並列変換部 102 は、これを 2 つの中間信号に直並列変換する。

15

つぎに、これらの中間信号が、ユニタリ行列変調部 103 に与えられる。ユニタリ行列変調部 103 は、2 つの中間信号の入力を受け付けて、2 つの変調信号を出力する。すると、ユニタリ行列変調部 103 は、入力された 2 つの中間信号を縦ベクトル（[数 5] ～ [数 8]）と見たときに、これに対応する行列（[数 1] ～ [数 4]）を出力する。

20

たとえば、2 つの中間信号が [数 6] で表されるものであり、出力されるべき行列が [数 2] で表されるものであるときには、時間順に変調信号の一方には i , 0 を、他方には 0, i を、それぞれ出力する。

そして、ユニタリ行列変調部 103 が出力するこれらの信号の実部と虚部の組み合わせ（行列の次元数と一致）を、スプリット部 111 が、逆フーリエ変換部 112 の実部と虚部の組み合わせ（I チャンネルと Q チャンネル）にそれぞれ入力して、逆フーリエ変換を行う。

25

$$\begin{pmatrix} \dot{i} \\ \dot{i} \end{pmatrix}$$

[数 1 2]

$$\begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

[数 1 3]

$$\begin{pmatrix} -\dot{i} \\ -\dot{i} \end{pmatrix}$$

5

逆フーリエ変換部 1 1 2 では、入力された信号群を、通常の OFDM 通信と同様に逆フーリエ変換する。逆フーリエ変換部 1 1 2 において行われる逆フーリエ変換のチャンネル (OFDM 通信のサブキャリア) 同士の周波数の差は、所定のコヒーレントバンド幅以上とすることが望ましい。コヒーレントバンド幅は、遅延波によるチャンネル応答が似ているようなチャンネル同士の周波数の差であり、遅延波の遅延時間が長ければ、チャンネルのコヒーレントバンド幅は狭くなり、遅延波の遅延時間が短ければ、チャンネルのコヒーレントバンド幅は広くなる。

ここでたとえば、80MHz のバンド幅で 1 2 8 個のサブキャリアの OFDM システムを考えると、サブキャリアのバンド幅 $\Delta f = 80\text{MHz}/128 = 625\text{kHz}$ ということになる。ここで、RMS (Root Mean Squared) 遅延スプレッド $\tau = 714\text{ns}$ と考えると、コヒーレントバンド幅 $B_c = 1/(50 \tau) = 28\text{kHz} \approx 0.048 \Delta f$ であ

15

そこで、逆スプリット部 406 では、フーリエ変換済み信号が、[数 10] ~ [数 13] のいずれに最も近いかなどを判定して、最も近いと判定されたベクトルを求める。「近さ」はベクトル同士のユークリッド距離によって定めるのが典型的であるが、ベクトルの各成分の差の絶対値の総和など、種々の「距離」

5 の計算手法を採用することができる。

そして、図 3 に示すスプリットとは逆の変換「逆スプリット」により、求められたベクトルの各成分を対角成分とするユニタリ行列を得る。

ユニタリ行列復調部 407 は、逆スプリット部が出力したユニタリ行列（上記例の [数 5] ~ [数 8]）にあらかじめ対応付けられたベクトル（上記例の
10 [数 1] ~ [数 4]）を出力する。

さらに、並直列変換部 408 は、ユニタリ行列復調部 407 が出力したベクトルを並直列変換して、出力する。

最後に、復号化部 202 は、並直列変換された信号を LDPC 復号化して、これを伝送された信号として出力する。LDPC 符号の詳細については、後述
15 する。

なお、逆フーリエ変換部 112 やフーリエ変換部 405 としては、既存の高速フーリエ変換用の電子素子回路などを利用することができるが、この場合には、各チャンネル（サブキャリア）のバンド幅は固定となっていることが多い。そこで、上記のように求めたコヒーレントバンド幅よりも、上記のバンド幅が
20 狭い場合には、チャンネルを何個おきかにスキップして利用することによって、各チャンネルの周波数帯の周波数差を広げることができる。

（その他の実施形態）

上記の実施形態では、ユニタリ行列変調部やユニタリ行列復調部やを 1 つだけ採用して変復調を行っていたが、本実施形態では、 m 行 m 列のユニタリ行列変調部、ユニタリ行列復調部をそれぞれ n 個使い、OFDM においては m
25 $\times n$ 個のチャンネルを利用する。典型的には、上記の実施例においてあげたように、 $m = 2$ とする。

ついて、その周波数の差がコヒーレントバンド幅以上であれば十分である。

このように設定できるのは、同じユニタリ行列変調部 103 から出力される信号（対角成分）については、チャネル応答が類似していることによるものである。

- 5 もちろん、本実施形態においても、すべての入力チャネルの周波数差は大きいことが遅延波対策としては望ましいが、性能とのトレードオフの関係にあるので、これらの数値は、適用分野に応じて適宜設定することができる。

そこで、逆フーリエ変換部 105 の入力チャネルを、その周波数の順に、 $c_0, c_1, \dots, c_{m \times n-1}$ と名付けることとする。同じユニタリ行列変調部 103 から出力さ
 10 れる対角成分 $r_{i,0}, r_{i,1}, \dots, r_{i,m-1}, \dots$ をできるだけ遠い周波数の入力チャネルに与えるには、対角成分 r_{ij} は、入力チャネル $c_{j \times m+i}$ に与えることとすれば良い。このような信号の与え方を、図 7 (a) に示す。

このほか、所定の 1 以上の定数 k に対して、対角成分 r_{ij} を $c_{j \times (m+k)+i}$ に与えることとしても良い。この様子を図 7 (b) に示す。この場合、逆フーリエ変換
 15 部 105 の入力チャネルのうち、一部 ($c_{j \times (m+k)+i+1} \sim c_{j \times (m+k)+i+k-1}$ に相当するチャネル) には、ユニタリ行列変調部 105 の出力は与えないこととなるので、典型的には値 0 を与えることとなる。ただし、これらの一部の入力チャネルには、既知信号を与えることとして、当該チャネルをパイロット信号の伝送用を利用することとしても良い。この場合は、受信装置 401 においても当該パイロ
 20 ット信号により同期をとり、各種の信号補償を行うなどの処理を加えることができる。

そして、逆フーリエ変換部 105 は、その入力チャネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる複数の逆フーリエ変換済み信号を出力する。

一方、並直列変換部 106 は、出力された複数の逆フーリエ変換済み信号を
 25 並直列変換して 1 つの送信信号を出力する。

さらに、送信部 107 は、出力された送信信号を送信する。

一方、当該送信装置 101 に対応する受信装置 401 は、受信部 403 と、

[数 1 4]

$$\begin{pmatrix} 0.8 & 0 \\ 0 & 0.9 \end{pmatrix}$$

なお、ユークリッド距離を求める前に、「フーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり、対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列」について、適
 5 当な正規化を行っても良い。たとえば、各対角成分を「対角成分の 2 乗平均」で除算する、などの手法が考えられる。この場合、[数 1 4] に対応する正規化後の行列を計算すると、対角成分の 2 乗平均は 0.85147 であるから、[数 1 5] のようになる。

[数 1 5]

$$\begin{pmatrix} 0.93955 & 0 \\ 0 & 1.05700 \end{pmatrix}$$

さらに、並直列変換部 4 0 7 は、復調された複数の復調済信号を並直列変換し、復号化部 2 0 2 は、これを LDPC 復号化して、伝送された信号として出力する。

なお、送信装置 1 0 1、受信装置 4 0 1 における対角成分以外が 0 のユニタリ行列の選択、および、信号とユニタリ行列との対応付けは、「ユニタリ行列変調部 1 0 3 と対応するユニタリ行列復調部 4 0 7 の対」のそれぞれについて、
 15 同じものを選択しても良いし、異なるものを選択しても良い。特に、隣り合う「ユニタリ行列変調部 1 0 3 と対応するユニタリ行列復調部 4 0 7」について、異なるユニタリ行列の選択や対応付けを採用することとしても良い。

20 さて、かりに LDPC 符号化／復号化を用いない場合は、上記のように、同じユニタリ行列変調部から出力される対角成分が与えられる入力チャネルにつ

[数 1 6]

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

符号語 $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ は、 X_1, X_2, \dots, X_{10} に対応付けられるので、行列の積および転置を考えれば、

$$5 \quad H c^T = 0$$

が成立することとなる。

この行列 H を、符号語 c に対するパリティチェック行列いう。

LDPC符号とは、このようにして符号語から作られたパリティチェック行列のうち疎なもの（値が0である要素の数の割合が多いもの）をいう。したが
10 って、符号語 $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ から行列 H （の要素を1列に並べたもの）を求めることが、LDPC符号化である、ということとなる。

次に、このようにして得られた行列 H から、もとの符号語 c を得る処理がLDPC復号化である。以下では、復号の処理の詳細について説明する。図9は、LDPC復号化の処理の制御の流れを示すフローチャートである。以下、
15 本図を参照して説明する。

n 行 r 列のパリティチェック行列 H において、各列に1が出現する数を t であるとする。このようなパリティチェック行列を「 (r, n, t) LDPC符号」と呼ぶ。

$t > 2$ である場合、LDPC符号の最小距離がブロック長 n に比例して大き

以外の要素には、1 や -1 等の適当な初期値を格納する (ステップ S 9 0 1)。

次に、以下のステップ S 9 0 3 ~ ステップ S 9 0 6 の処理を、L 回繰り返す (ステップ S 9 0 2)。

すなわち、 $H[j,i]=1$ を満たすすべての j,i の組み合わせについて、[数 1 7]

5 を計算し、その値を $\alpha[j,i]$ に格納する (ステップ S 9 0 3)。

[数 1 7]

$$\prod_{i' \in A(j) \setminus i} \text{sign}(\lambda_{i'} + \beta[j, i']) \\ \times f \left(\sum_{i' \in A(j) \setminus i} f(|\lambda_{i'} + \beta[j, i']|) \right)$$

ここで、逆スラッシュは、「逆スラッシュの左辺の集合から右辺の要素を除去した集合」を意味する。したがって、[数 1 7] の場合は、 $i' \neq i$ というこ

10 ととなる。

ただし、 $\text{sign}(x)$ は x が 0 以上であれば 1、そうでなければ 0 となる関数であり、 $f(x)$ は、数 1 8 のように定義される。

[数 1 8]

$$f(x) = \ln \frac{e^x + 1}{e^x - 1}$$

15 さらに、 $H[j,i]=1$ を満たすすべての j,i の組み合わせについて、[数 1 9] を計算し、その値を $\beta[j,i]$ に格納する (ステップ S 9 0 4)。

[数 1 9]

本計算機シミュレーションでは、(128,64,7) LDPC符号を使用し、サブキャリア数を128とし、対角成分をコヒーレントバンド幅以上にスプリットして、ドップラ周波数10Hz環境下における性能を求めた。

- 本グラフを見れば明らかな通り、繰り返し回数 L が1～2回の場合には、
- 5 LDPC符号化をしないよりも性能が低下する区間があるが、5回以上の繰り返しを行うと、ほとんどすべての区間でLDPC符号化をしないよりも性能が向上する。また、繰り返し回数 L を増やせばそれだけBERは低下し、性能は向上するが、回数を増やした場合の性能向上の度合は、しだいに鈍くなっていくこともわかる。

- 10 これらの送信装置、受信装置は、ソフトウェアラジオなどの技術を用いれば、各種のコンピュータ、FPGA (Field Programmable Gate Array)、DSP (Digital Signal Processor) にソフトウェアを与えることによって実現することができる。

産業上の利用性

15

本発明により、対角成分以外の成分が0であるユニタリ行列による変復調を用いて効率良く通信を行う送信装置、受信装置、送信方法、受信方法、ならびに、これらをコンピュータ上にて実現するためのプログラムを提供することができる。

前記直並列変換部は、前記出力された受信信号を直並列変換して m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力し

前記フーリエ変換部は、前記出力された m 個の中間信号をフーリエ変換して得られる m 個のフーリエ変換済み信号を出力し、

- 5 前記逆スプリット部は、前記出力された m 個のフーリエ変換済み信号を、前記ユニタリ行列復調部に与え、

前記ユニタリ行列復調部は、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に対応付けられた信号を復調し

- 10 て、これを復調済信号として出力し、

前記並直列変換部は、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力し、

前記復号化部は、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力し、

- 15 前記フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ことを特徴とするもの。

3. 符号化工程と、直並列変換工程と、ユニタリ行列変調工程と、スプリット工程と、逆フーリエ変換工程と、並直列変換工程と、送信工程と、を備える送信方法であって、

前記符号化工程では、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力し、

- 25 前記直並列変換工程では、前記出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力し、

前記ユニタリ行列変調工程では、前記出力された m 個の中間信号を、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出

調して、これを復調済信号として出力し、

前記並直列変換工程では、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを直列化済信号として出力し、

前記復号化工程では、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復号化して、これを伝送された信号として出力し、

前記前記フーリエ変換工程におけるフーリエ変換のチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上であることを特徴とするもの。

5. コンピュータを、符号化部、直並列変換部、ユニタリ行列変調部、スプリット部、逆フーリエ変換部、並直列変換部、および、送信部として機能させるプログラムであって、

前記プログラムは、前記コンピュータにおいて、

前記符号化部が、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティチェック符号化した符号化済信号を出力し、

前記直並列変換部が、前記出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 m ($m \geq 2$) 個の中間信号を出力し、

前記ユニタリ行列変調部が、前記出力された m 個の中間信号を、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力し、

前記スプリット部が、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、前記逆フーリエ変換部の入力チャネルに入力信号として与え、

前記逆フーリエ変換部が、その入力チャネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力し、

前記並直列変換部が、前記出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して 1 つの送信信号を出力し、

前記送信部が、前記出力された送信信号を送信し、

前記逆フーリエ変換部のチャネル同士の周波数の差が、いずれも所定のコヒ

7. 符号化部と、直並列変換部と、複数のユニタリ行列変調部と、スプリット部と、逆フーリエ変換部と、並直列変換部と、送信部と、を備える送信装置であって、

前記符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティ
5 イチェック符号化した符号化済信号を出力し、

前記直並列変換部は、前記出力された符号化済信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 $m \times n$ ($m \geq 2$, $n \geq 1$)個の中間信号を出力し、

前記複数のユニタリ行列変調部のそれぞれは、前記出力された $m \times n$ 個の
中間信号のうちのいずれか m 個を重複なく、対角成分以外が 0 である m 行 m
10 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力し、

前記スプリット部は、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、前記逆フーリエ変換部の入力チャンネルに入力信号として与え、

前記逆フーリエ変換部は、その入力チャンネルに与えられた入力信号を逆フーリエ変換して得られる m 個の逆フーリエ変換済み信号を出力し、

15 前記並直列変換部は、前記出力された m 個の逆フーリエ変換済み信号を並直列変換して 1 つの送信信号を出力し、

前記送信部は、前記出力された送信信号を送信し、

前記逆フーリエ変換部のチャンネル同士のうち、前記複数のユニタリ行列変調部から出力される行列の対角成分が与えられるチャンネル同士の周波数の差は、
20 いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ことを特徴とするもの。

8. 請求項 7 に記載の送信装置であって、

前記複数のユニタリ行列変調部のうち、 i 番目のものが出力する行列の j 行 j
25 列の対角成分(ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$)は、前記逆フーリエ変換部の $j \times m+i$ 番目の入力チャンネルに与えられる

ことを特徴とするもの。

対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列であって、あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のそれぞれと、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列と、を対比して、当該あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のうち、そのユークリッド距離が最小のものを選択し、当該選択されたものを復調の結果とする

ことを特徴とするもの。

1 1. 請求項 10 に記載の受信装置であって、

10 前記複数のユニタリ行列復調部のうち、 i 番目のものが対比する行列の j 行 j 列の対角成分(ただし $0 \leq i < n$, $0 \leq j < m$)は、前記逆フーリエ変換部の $j \times m+i$ 番目の出力チャネルから出力されたものである

ことを特徴とするもの。

15 1 2. コンピュータを、符号化部、直並列変換部、複数のユニタリ行列変調部、スプリット部、逆フーリエ変換部、並直列変換部、および、送信部として機能するプログラムであって、

前記プログラムは、前記コンピュータにおいて、

前記符号化部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを低密度パリティ
20 イチェック符号化した符号化済信号を出力し、

前記直並列変換部は、伝送すべき信号の入力を受け付けて、これを直並列変換して、 $m \times n$ ($m \geq 2$, $n \geq 1$)個の中間信号を出力し、

前記複数のユニタリ行列変調部のそれぞれは、前記出力された $m \times n$ 個の中間信号のうちのいずれか m 個を重複なく、対角成分以外が 0 である m 行 m
25 列のユニタリ行列に変調して、得られる行列を出力し、

前記スプリット部は、前記出力された行列の対角成分のそれぞれを、前記逆フーリエ変換部の入力チャネルに入力信号として与え、

前記逆スプリット部は、前記出力された $m \times n$ 個のフーリエ変換済み信号を、 n 個ずつ重複なく前記ユニタリ行列復調部のそれぞれに与え、

前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列
5 の行列から、対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列に対応付けられた信号を復調して、これを復調済信号として出力し、

前記並直列変換部は、前記復調された複数の復調済信号を並直列変換して、これを伝送された信号として出力し、

前記復号化部は、前記出力された直列化済信号を低密度パリティチェック復
10 号化して、これを伝送された信号として出力し、

前記フーリエ変換部のチャネル同士のうち、前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれに与えられるフーリエ変換済み信号を出力するチャネル同士の周波数の差は、いずれも所定のコヒーレントバンド幅以上である

ように機能させることを特徴とするプログラム。

15

1 5. 請求項 1 4 に記載のプログラムであって、

当該コンピュータにおいて、

前記複数のユニタリ行列復調部のそれぞれは、

対角成分以外が 0 である m 行 m 列のユニタリ行列であって、あらかじめ定
20 められた複数のユニタリ行列のそれぞれと、与えられた m 個のフーリエ変換済み信号のそれぞれが対角成分であり対角成分以外が 0 である m 行 m 列の行列と、を対比して、当該あらかじめ定められた複数のユニタリ行列のうち、そのユークリッド距離が最小のものを選択し、当該選択されたものを復調の結果とする

25 ように機能させることを特徴とするプログラム。

1 6. 請求項 1 5 に記載のプログラムであって、

1 / 10

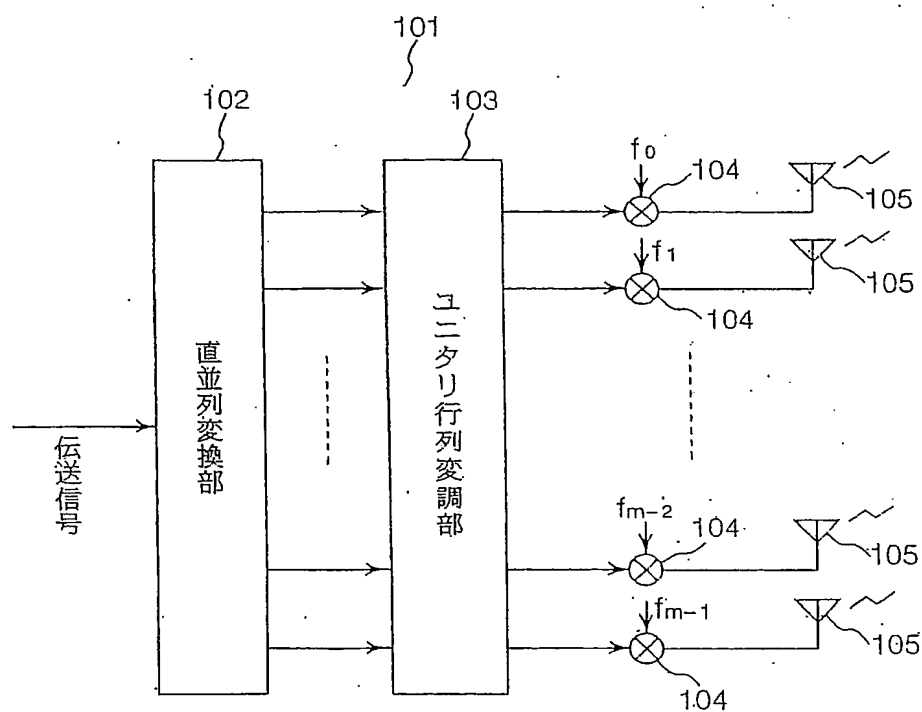


図1

2/10

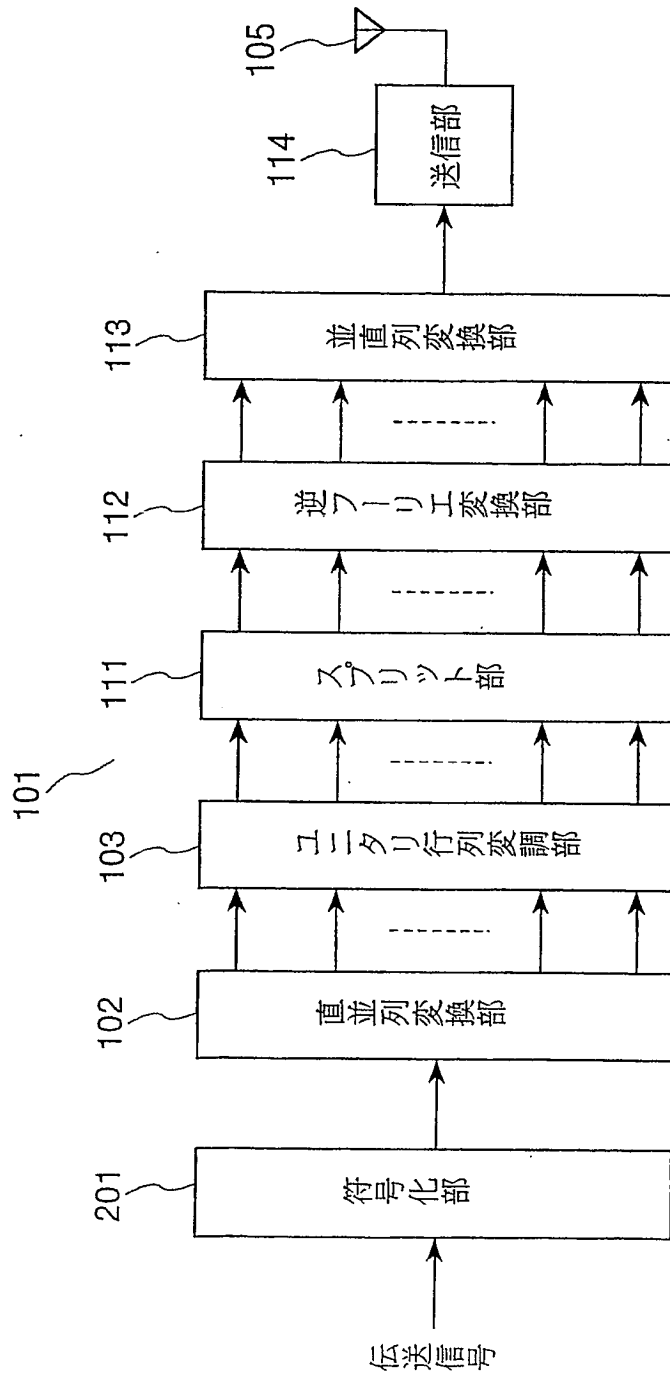


図2

3/10

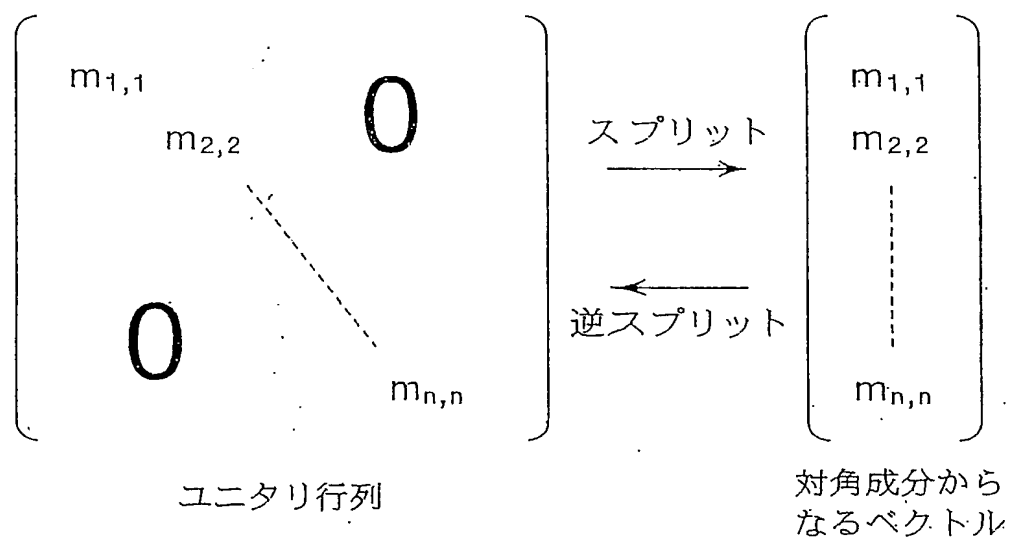


図3

4/10

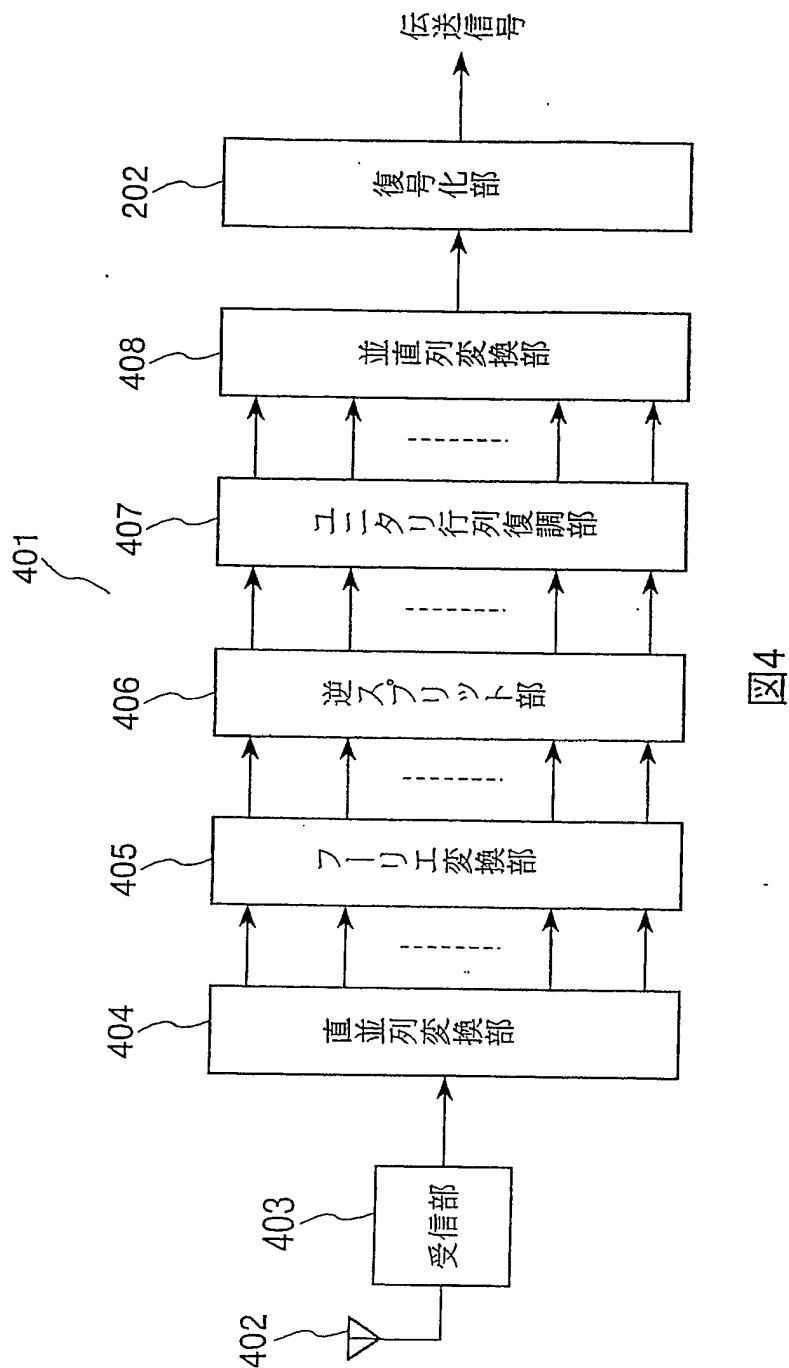


図4

5/10

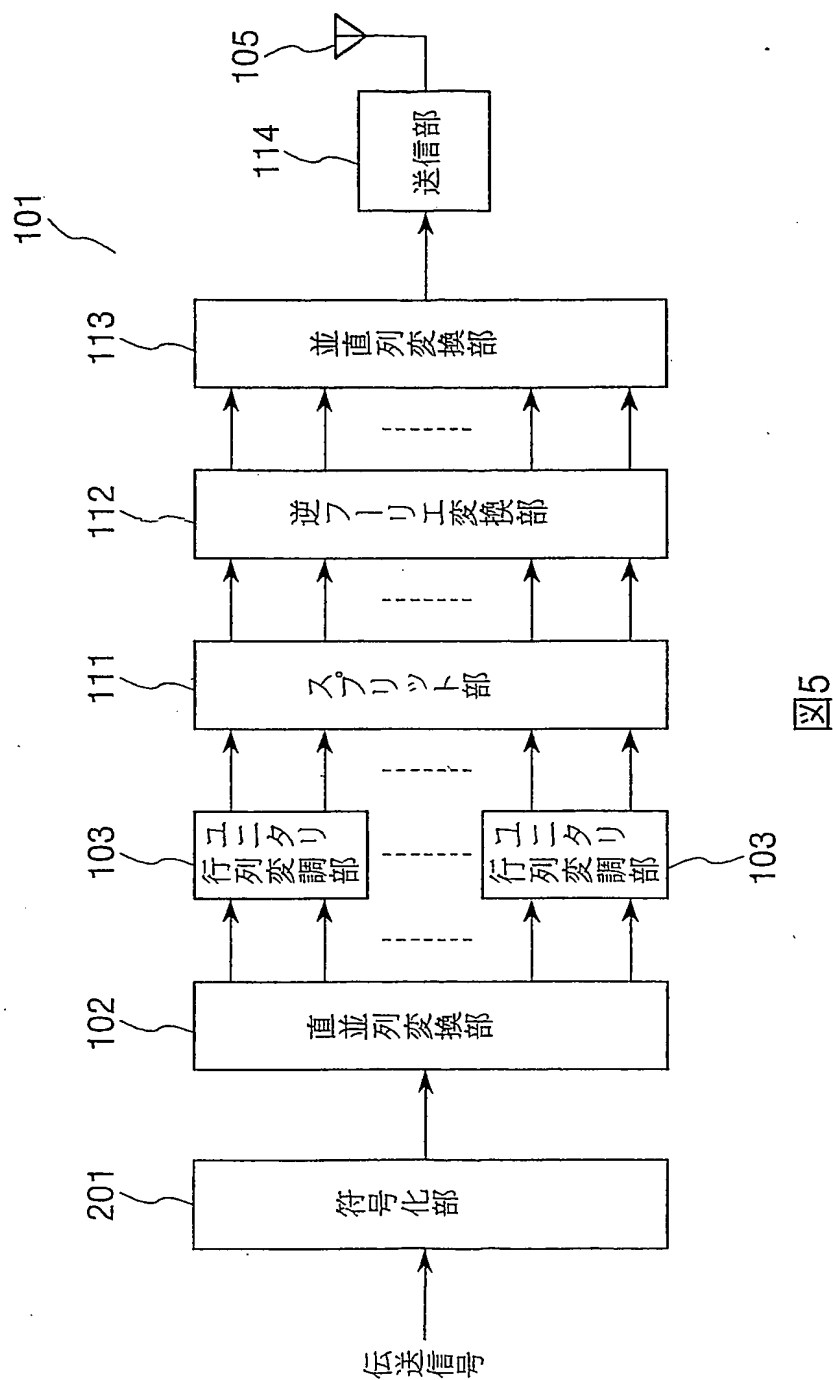


図5

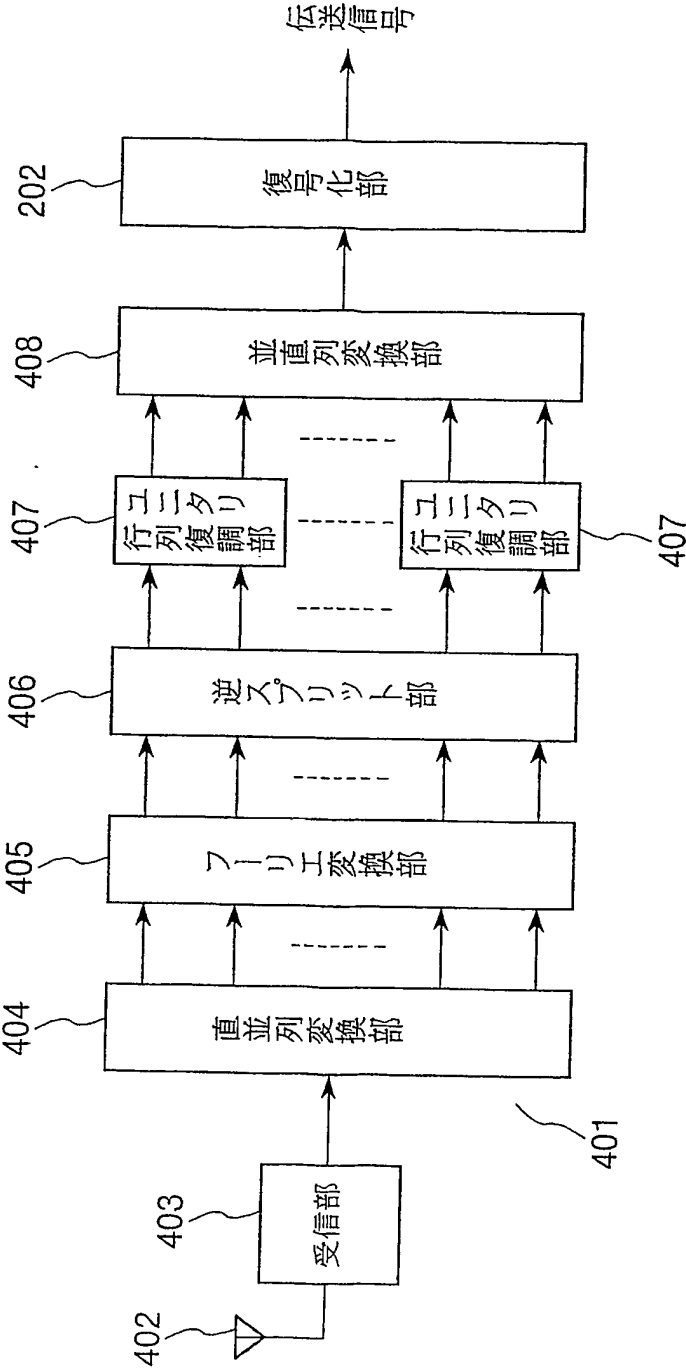
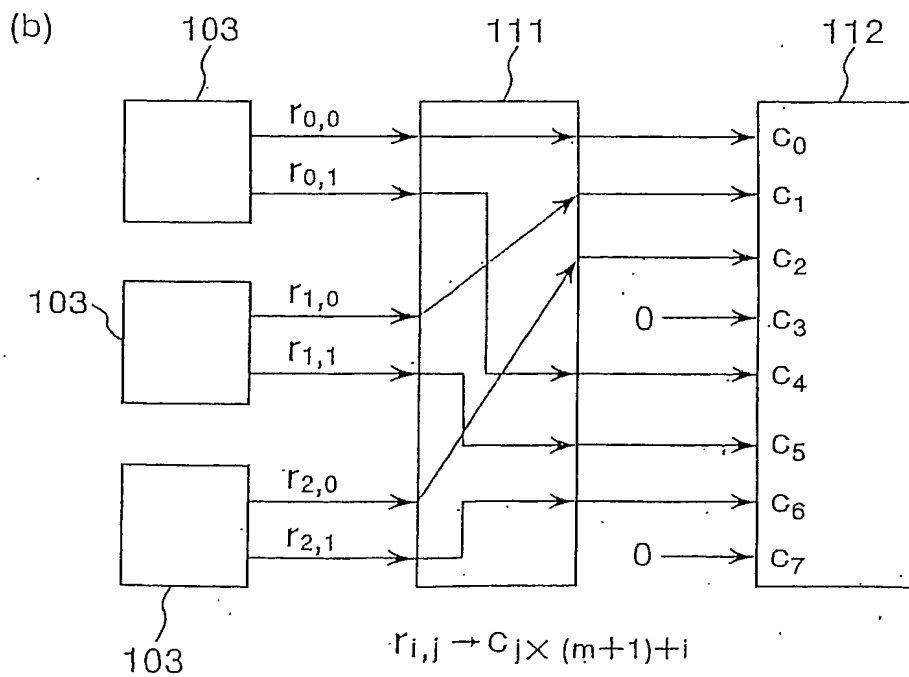
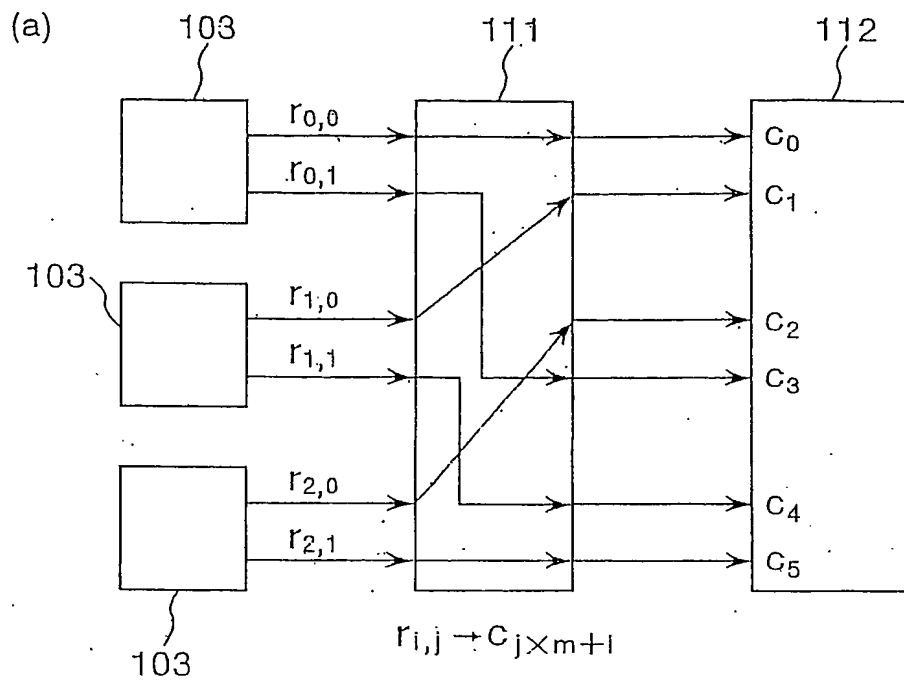


図6

7/10



8 / 1 0

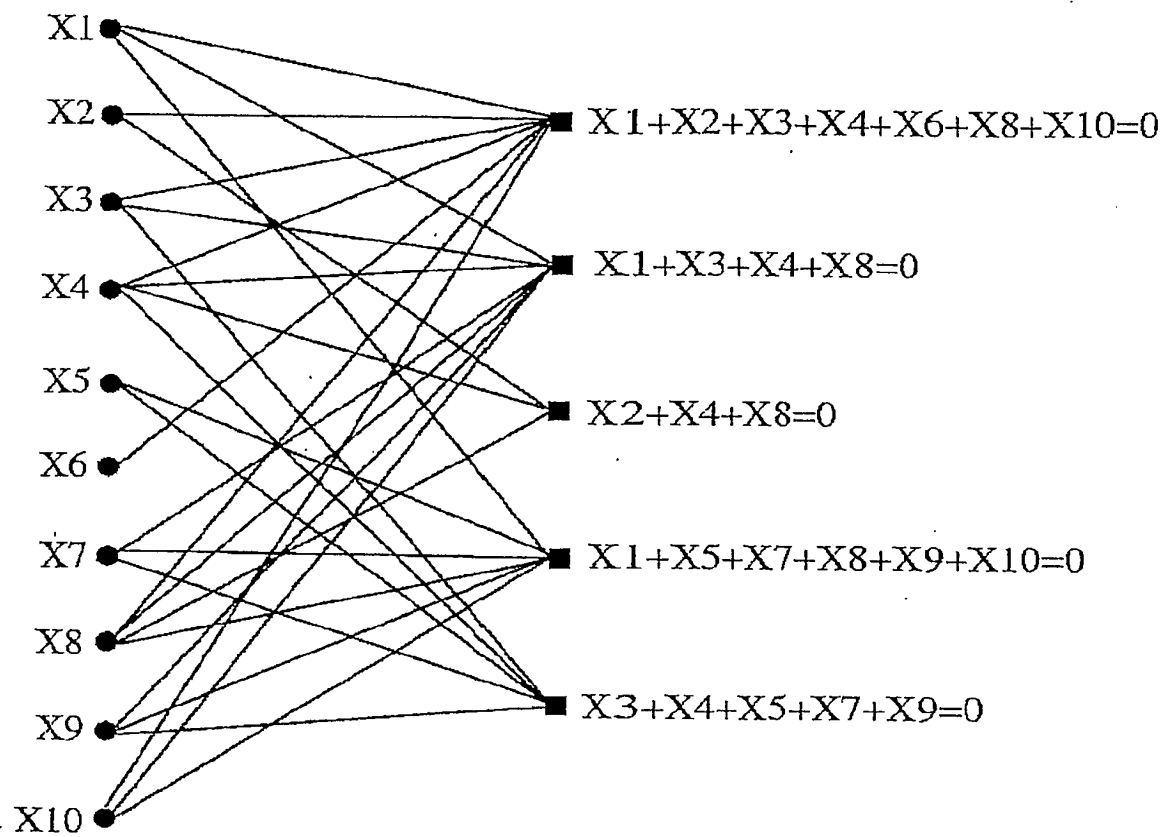


図 8

9/10

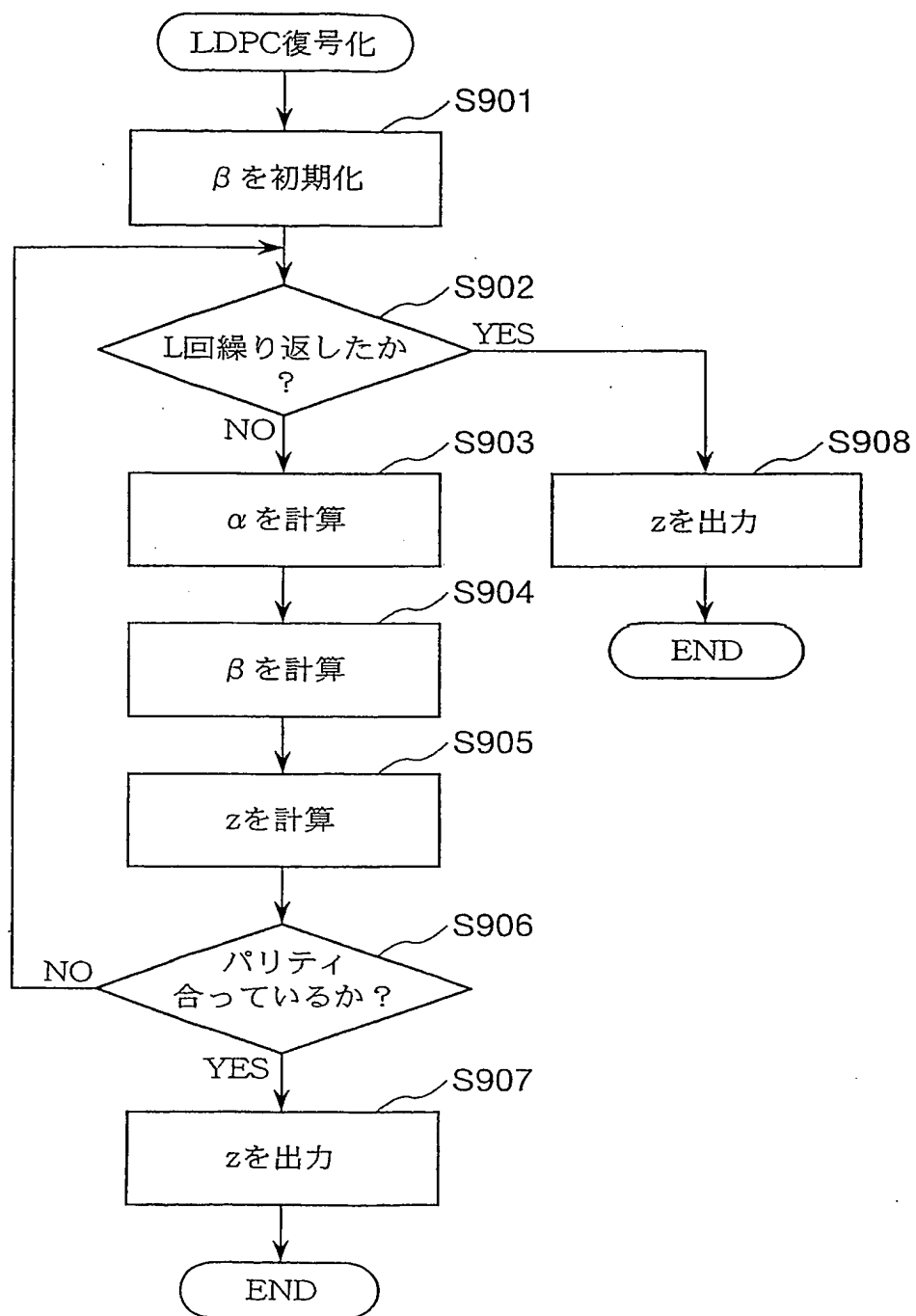


図9

10/10

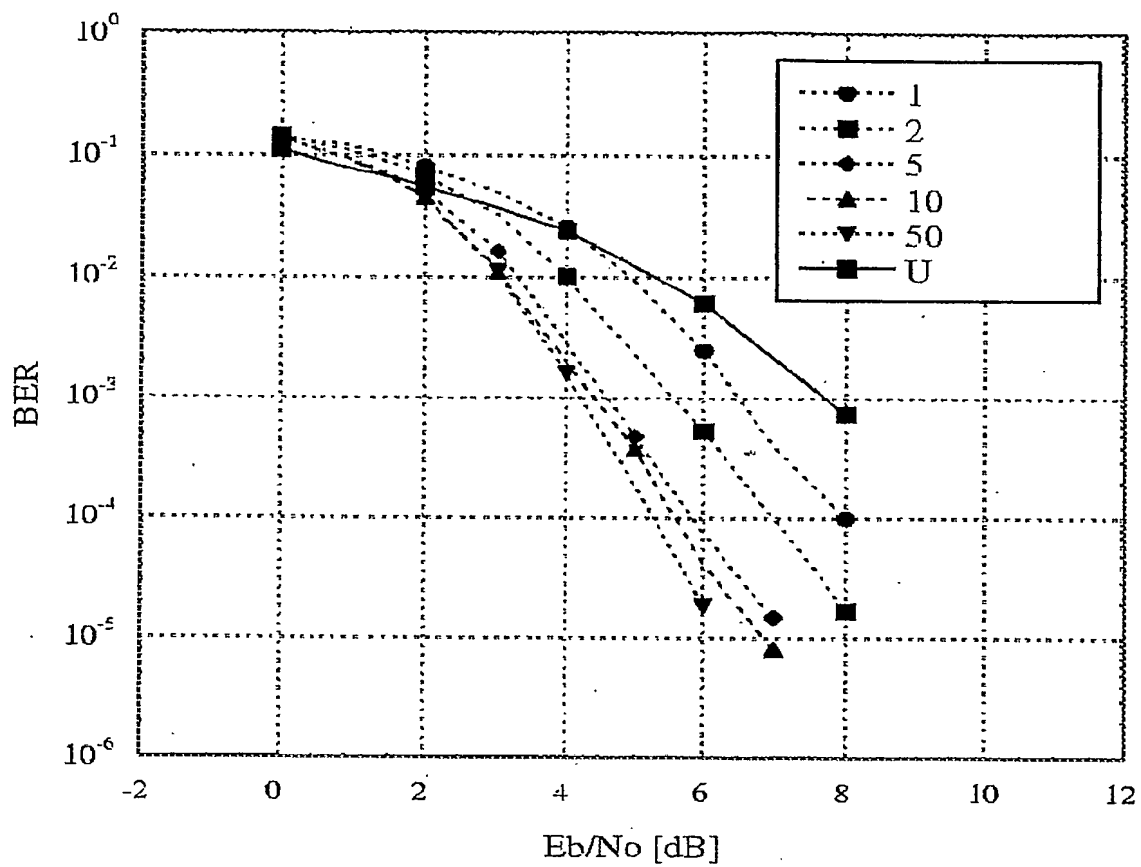


図 10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04J11/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04J11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2003年
日本国登録実用新案公報 1994-2003年
日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	安昌俊、笹瀬巖, "Convolutional Coded Coherent and Differeftial Unitary Space-Time Modulated OFDM with Bit Interleaving for Multiple Antennas system", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 102, No. 392, 2002. 10. 22, p. 75-80	1-16

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
30. 03. 04

国際調査報告の発送日
13. 4. 2004

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
高野 洋

5 K 9647

電話番号 03-3581-1101 内線 3556

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/16275

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H04J11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H04J11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Masatoshi YASU, Iwao SASASE, "Convolutional Coded Coherent and Differential Unitary Space-Time Modulated OFDM with Bit Interleaving for Multiple Antennas system", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.102, No.392, 22 October, 2002 (22.10.02), pages 75 to 80	1-16
A	Naoki YOSHIMUCHI, Tomohiro HIRAMOTO, Atsushi MIZUKI, Iwao SASASE, "Broadband Mobile Channel ni okeru LDPC Fugo o Mochiita Unitary Kukan Jikan Hencho OFDM Hoshiki", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.102, No.551, 17 January, 2003 (17.01.03), pages 91 to 96	1-16

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	---

Date of the actual completion of the international search
30 March, 2004 (30.03.04)

Date of mailing of the international search report
13 April, 2004 (13.04.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16275

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H04J11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H04J11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Masatoshi YASU, Iwao SASASE, "Convolutional Coded Coherent and Differential Unitary Space-Time Modulated OFDM with Bit Interleaving for Multiple Antennas system", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.102, No.392, 22 October, 2002 (22.10.02), pages 75 to 80	1-16
A	Naoki YOSHIMUCHI, Tomohiro HIRAMOTO, Atsushi MIZUKI, Iwao SASASE, "Broadband Mobile Channel ni okeru LDPC Fugo o Mochiita Unitary Kukan Jikan Hencho OFDM Hoshiki", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, Vol.102, No.551, 17 January, 2003 (17.01.03), pages 91 to 96	1-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30 March, 2004 (30.03.04)Date of mailing of the international search report
13 April, 2004 (13.04.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)